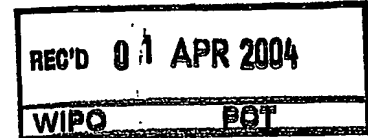


**BUNDEREPUBLIK DEUTSCHLAND****PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 02 794.7

**Anmeldetag:** 24. Januar 2003

**Anmelder/Inhaber:** NaWoTec GmbH,  
64380 Rossdorf/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung  
von Korpuskularstrahlsystemen

**IPC:** H 01 J, B 81 B, G 03 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 19. Februar 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Remus

5

## B E S C H R E I B U N G

10

### Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung  
von Korpuskularstrahlssystemen gemäß der im Anspruch 1  
angegebenen Art und eine entsprechende Vorrichtung ge-  
mäß der im Anspruch 20 angegebenen Art.

20 Korpuskularstrahlssysteme umfassen insbesondere Elektro-  
nenstrahl- oder Ionenstrahlssysteme. Im folgenden werden  
beispielhaft Elektronenstrahlssysteme, deren Anwendungen  
und Nachteile erläutert. Dies ist jedoch nicht ein-  
schränkend zu verstehen. Vielmehr gelten die folgenden  
25 Erläuterungen ebenso für andere Korpuskularstrahlssyste-  
me wie beispielsweise die erwähnten Ionenstrahlssysteme.

Elektronenstrahlssysteme werden beispielsweise in der  
Halbleitertechnologie, Nanoanalytik, Bio-Nano-Physik,  
30 Mikro-Optik und Nano-Elektronik eingesetzt. Sie können  
insbesondere zur Herstellung von Nanostrukturen wie zum  
Beispiel der Elektronenstrahl-induzierten lithographi-  
schen Nanostrukturierung von Oberflächen angewandt wer-

den. Ionen- und Elektronenstrahlsysteme werden auch zur Reparatur von Photomasken, phasenschiebenden Photomasken und NGL-Masken für die Halbleiterindustrie verwendet. Mit Elektronenstrahlen können auch integrierte  
5 Schaltungen direkt auf einen Halbleiterwafer geschrieben und auch dort repariert werden. Vorzugsweise wird dies bei integrierten Schaltungen mit Strukturabmessungen im nm-Bereich praktiziert, wo die bisher eingesetzte Optische und Ionenstrahl-Lithographie an physikalische Grenzen stößt.  
10

Ein Elektronenstrahlsystem umfasst eine Vielzahl von elektronischen Komponenten, wie beispielsweise eine Strahlstromstabilisierung, eine Strahlablenkung, eine  
15 Fokussierungsautomatik mit Hilfe von programmierten Sequenzen, eine Elektronenstrahl-Ablenkung und -Verstärkung und eine Sekundärelektronenstrahlverstärkung. Diese Komponenten werden bisher überwiegend in Form von Einzelplatinen mit diskreten Schaltkreisen aufgebaut, die derart programmierbar sind, dass  
20 die vorgenannten Funktionen ausgeführt werden können.

Um Elektronenstrahlsysteme zu verkleinern, ist es bekannt, Einzelelemente von Elektronenstrahlsystemen mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition aufzubauen, wie beispielsweise der Aufbau von Feldelektronenemittern, Feldemissionskathoden mit Extraktor und Fokussierlinsen sowie von Drahtlinsen für eine elektrostatische Fokussierung und Ablenkung. Die Herstellung  
25 einer elektrostatischen Miniaturlinse mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition ist beispielsweise in der DE 44 35 043 A1 beschrieben. Aus der DE 44 16 697 A1 ist es bekannt, für einen flachen  
30

Farbbildschirm parallel eine Vielzahl mikro-  
miniaturisierter Elektronenstrahl-Emittersysteme mit  
Hilfe einer korpuskularstrahlinduzierten Deposition auf  
5 einem mit Leiterbahnen konventionell strukturierten  
Grundmaterial aufzubringen.

10 Zur Miniaturisierung wurden Elektronenstrahlsysteme  
auch aus mechanischen Einzelteilen zusammengebaut, die  
aber nicht mit einer kalten Feldelektronenemission,  
sondern einer heißen Elektronenemission betrieben wer-  
den. Mittlerweile wurde auch damit begonnen, miniaturi-  
sierte Elektronenstrahlsäulen zu bauen. Verschiedene  
Forschungsgruppen beschäftigen sich auch damit, Elekt-  
15 ronenquellen aus Kohlenstoff-Nanoröhren und anderen E-  
mittern, wie z.B. dotierte Siliziumspitzen mit transis-  
torgesteuertem Emissionsstrom aufzubauen, die auf einem  
Halbleiterchip in einer Prozessschrittfolge hergestellt  
werden.

20 Nachteilig an den vorgenannten Verfahren ist jedoch,  
dass die Erzeugung einer Vielzahl von miniaturisierten  
Korpuskularstrahlssystemen sehr lange dauert, d.h. eine  
sehr lange Produktionszeit benötigt, da jedes System  
25 einzeln sukzessive aufgebaut bzw. erzeugt wird.

Nachteilig ist auch, dass die Herstellungsprozess-  
schritte der Halbleiterfertigung so großen Toleranzen  
unterliegen, dass eine gleichartige Emissions-  
Charakteristik der Feldemitter nicht erreicht wird.

30 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfah-  
ren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen und  
eine entsprechende Vorrichtung anzugeben, welche den

Aufbau einer Vielzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit ermöglichen.

5 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen mit den Merkmalen nach Anspruch 1 und durch eine entsprechende Vorrichtung mit den Merkmalen nach Anspruch 20 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

10

Ein wesentlicher Gedanke der Erfindung besteht darin, eine große Anzahl von miniaturisierten Korpuskularstrahlssystemen durch eine Art Selbstreproduktion zu ermöglichen. Dies kann dadurch erreicht werden, dass  
15 bereits erzeugte Korpuskularstrahlssysteme zum Erzeugen weiterer Korpuskularstrahlssysteme mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition eingesetzt werden.

20

Beispielsweise können gemäß der Erfindung mit Hilfe der Elektronenstrahl-induzierten Deposition unter Rechnerführung miniaturisierte Elektronenstrahlssysteme in großer Zahl hergestellt werden. Als Basis und Grundlage kann hierbei eine durch Lithographie in VLSI-Technik hergestellte Grundsaltung dienen, in welche hinein  
25 mit der Elektronenstrahl-induzierten Deposition die Funktionselemente für ein weiteres miniaturisiertes Elektronenstrahlssystem aufgebaut werden. Dieses miniaturisierte System wird dann, nachdem es eine Funktionsprüfung bestanden hat, weiterverwendet, um wiederum in  
30 einen ebenfalls vorher vorbereiteten Basis-Chips hinein durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition die funktionellen Elemente für ein gleichartiges Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Eine wesentliche Eigenschaft

des Elektronenstrahlsystems besteht darin, einen feinen Elektronenstrahl auf ein Substrat zu fokussieren und dort durch Zufuhr von organometallischen Verbindungen wiederum Strukturen durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition zu erzeugen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Selbstreproduktion von Elektronenstrahlsystemen kann nun in einem ersten Schritt zur Verdoppelung der Anzahl von Elektronenstrahlsystemen den vorher beschriebenen Prozess nutzen, a) um eine Tochtergeneration von Elektronenstrahlsystemen zu erzeugen und b) um die „Tochter“- Elektronenstrahlsysteme zusammen mit dem „Mutter“- Elektronenstrahlssystem parallel einzusetzen, um daraufhin eine zweite Töchtergeneration von nunmehr zwei Elektronenstrahlsystemen parallel aufzubauen. Diese neu aufgebauten Elektronenstrahlsysteme werden dann wieder zu den bereits bestehenden Elektronenstrahlsystemen parallel geschaltet, wodurch vier Elektronenstrahlsysteme erhalten werden, die gemeinsam eingesetzt werden, um in vorbereitete Basis-Chips auf einem Substrat Funktionselemente von weiteren vier Elektronenstrahlsystemen parallel und gleichzeitig aufzubauen, und so fort.

Mit der Erfindung wird die Möglichkeit eröffnet, ein exponentielles Wachstum der Anzahl der Korpuskularstrahlsysteme zu erzielen. Beispielsweise werden nach fünf Generationen 32 funktionsfähige miniaturisierte Korpuskularstrahlsysteme erhalten, die erprobt und funktionsbereit sind. Nach zehn Tochtergenerationen sind bereits 1024 derartige miniaturisierte Systeme und nach 20 Tochtergenerationen 1 Mio. funktionierende Korpuskularstrahlsysteme erhalten worden. Insbesondere schaltet man die derart erzeugten Korpuskularstrahl-

systeme in einen Block zusammen und setzt sie als Strahlmatrix mit z.B. bis zu 1 Mio. parallel produktiv wirkenden Korpuskularstrahlen ein, so erhält man mit Vorteil neuartige Produktionsgeräte zur Herstellung von in der Einzelherstellung zu teuren neuen Produkten.

Dies wird durch die Tatsache verursacht, dass im Einzelstrahl-Herstellungsverfahren die Produkte eine hohe Herstellungszeit haben und damit hohe Herstellungs-Elektronenstrahl-Maschinenkosten von z.B. mehreren Minuten und damit nur unwirtschaftlich hergestellt werden könnten. Beispiele solcher Produkte sind eine Widerstandsmatrix der Detektorelemente für eine flache Kamera für Multimedia-Anwendungen oder eine Emitter- und Extraktor-Anordnung für die Bildpunkt-Strahlungsquellen für flache Feldemitterelektronenquellen, die in Flachbildschirmen Verwendung finden, und die auch mit Vorteil in einem Hochstrom-Schalter mit niedriger Schaltspannung für die Energieübertragungstechnik Anwendung finden.

Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen, bei dem auf einem ersten Substrat mindestens ein erstes Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition und auf mindestens einem zweiten Substrat mindestens ein zweites Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt wird.

Anschließend kann auf dem ersten Substrat mindestens ein weiteres erstes Korpuskularstrahlssystem von dem mindestens einen zweiten Korpuskularstrahlssystem mit-

tels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugt werden.

5 Vorzugsweise werden abwechselnd erste und zweite Korpuskularstrahlssysteme von den bereits auf den Substraten existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt.

10 Insbesondere werden ein erstes und ein zweites Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen  
15 des anderen Substrats erzeugen können.

Um die für die Herstellung erforderliche Genauigkeit zu erzielen, werden die Substrate vorzugsweise von einem Rechner gesteuert positioniert.

20 Eine besonders hohe Positionierungsgenauigkeit ermöglichen Piezoelemente, mit denen insbesondere über einen x-y-z-Verschiebetisch die Substrate zueinander positioniert werden können. Auch mechanische Verschiebetische,  
25 die mit Linearmaßstäben in ihrer Bewegung verfolgt werden erfüllen die Präzisionsanforderung für die Platzierung der System-Komponenten.

Jedes Korpuskularstrahlssystem wird vorzugsweise nach  
30 seiner Erzeugung elektrisch getestet, um mögliche Defekte bereits während des Herstellungsprozesses zu erkennen.



In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsge-  
mäßigen Verfahrens werden vor der Erzeugung von Korpusku-  
larstrahlssystemen auf den Substraten Schaltungselemen-  
te, insbesondere Verdrahtungselemente erzeugt, mit de-  
5 nen die erzeugten Korpuskularstrahlssysteme zumindest  
teilweise elektrisch verbunden und angesteuert werden.

Insbesondere werden Korpuskularstrahlssysteme auf An-  
schlusspunkten, die auf einem Substrat vorgesehen sind,  
10 erzeugt.

Eine besonders effiziente Herstellung kann dadurch er-  
zielt werden, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem  
Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.  
15 Insbesondere bestehen wegen der geringen Abmessungen  
der Systeme Abstände von weniger als 50  $\mu\text{m}$  zwischen den  
Systemen.

Dabei werden die Zwischenräume zwischen den Systemen  
20 mit Vorteil für die elektrostatische Abschirmung der  
Einzelsysteme gegeneinander mit Hilfe von auf definier-  
tem Gleichspannungs- oder Wechspannungspotential lie-  
genden Elektroden und Leiterbahnen verwendet.

Vorzugsweise führen erste und/oder zweite Korpusku-  
larstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen  
durch, die durch Rasterung erzeugt werden, um den Pro-  
duktionsprozess visuell zu überwachen.

Sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung ei-  
nes Korpuskularstrahls werden vorzugsweise in einem au-  
tomatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpusku-

larstrahlssystem kann eine individuelle Fokussierung durchgeführt.

5 Die Deposition wird in einer bevorzugten Ausführungsform mit Ionenstrahlinduzierter Deposition durchgeführt. Alternativ dazu wird die Deposition mit Elektronenstrahlen verwendet.

10 Vorzugsweise erfolgt die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahlssystem mit Rastersondenmikroskopischer Deposition mit Niederspannung beispielsweise von etwa 100 V bis etwa 40 kV.

15 Die Korpuskularstrahlssysteme werden vorzugsweise in Gruppen von einem Steuersystem umfassend eine Steuer- und Programmierelektronik angesteuert und kontrolliert.

20 Bis zu einer bestimmten Anzahl ist es vorteilhaft, die Korpuskularstrahlssysteme vollständig konfiguriert aufzubauen und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen einzusetzen.

25 Insbesondere werden Einzelkämme von Korpuskularstrahlssystemen reproduziert und zu Fertigungssystemen zusammengesetzt.

30 Die Blöcke können hierbei gemeinsam produziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammengesetzt werden müssen.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Korpuskularstrahlssysteme mit ihren Korpuskularstrahl-

Achsen etwa senkrecht zur Oberfläche des Substrats oder der Substrate angeordnet. Insbesondere umfassen die Korpuskularstrahlssysteme eine oder mehrere Feldemitter-Elektronenquelle(n) mit wenigstens einem Extraktor, 5 welcher als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist, und einer Fokussierungslinse, welche ebenfalls als Rundlinse oder Quadrupol aufgebaut ist. Die Anordnung aus den Rundlinsen bzw. Quadrupolen ermöglicht eine Steuerung des Emissions-Stromes, die Fokussierung und die Ablenkung des Korpuskularstrahles in x-y-Richtung durch eine 10 rechnergesteuerte Einstellung der Versorgungsspannung der Rundlinsen- bzw. Quadrupol-Elektroden.

Insbesondere kann das Rundlinsen- bzw. Quadrupolsystem 15 durch Wahl der Spannungen an den Elektroden den Korpuskularstrahl an- und abschalten. Durch Anlegen der Ablenkspannungen an den Extraktor und die Fokussierungslinse wird zudem der Elektronenstrahl zeilenförmig gerastert, im Spiral-Raster oder mit anderen zufälligen 20 oder gezielt gewünschten Koordinaten-Werten oder gezielt von Punkt zu Punkt bewegt.

Vorzugsweise sind um ein Korpuskularstrahlssystem Drähte, die Sekundärelektronen detektieren, und/oder Metall-Flächen angeordnet, welche die von dem Primärstrahl bzw. Korpuskularstrahl auf dem gegenüberliegenden Substrat erzeugten Sekundärelektronen aufnehmen. 25 Die Drähte bzw. Metall-Flächen verstärken die Sekundärelektronen in der Ausführungsform eines offenen Multipliers und führen sie einem Bildsignal-Anzeigegerät 30 synchron zur Ablenkung oder einer Anzeige zu.

Insbesondere werden die Bildsignale und Sekundärsignale der Sekundärelektronen zur Prozeßsteuerung und Bildanzeige verwendet.

5 Die Strahlen der Korpuskularstrahlssysteme werden vorzugsweise zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme, Tochtersysteme oder Strahlquellen verwendet, die insbesondere auf einer in einem vorgegebenen Abstand angeordneten, über einen x-y-z-Verschiebetisch positionierbaren vorstrukturierten Halbleiterschaltung hergestellt werden. Die Halbleiterschaltung wird hierbei vorzugsweise durch Vorstrukturierung mit Anschlüssen, Depositions-Fusspunkten und Systemelektronik in Form von Halbleiterschaltungen hergestellt.

15

Insbesondere ist eine erzeugte neue Tochterstruktur gleichartig zur Vervielfältigung der Mutter-Anordnung ausgeführt.

20 In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Tochterstruktur andersartig, aber ebenfalls korpuskularstrahl-spezifisch aufgebaut, um andersartige Korpuskularstrahl-Anwendungen in mehrfacher Form auf den Substraten zu erzeugen und zur Funktion zu bringen, z.B. die vom Erfinder patentierten Mikroröhren für Elektronenverstärker im THz-Bereich, für Schaltungen für Bit-Fehler-Raten Messplätze für die Telekommunikation im oberen GHz Bereich oder für Hochstrom-Elektronenquellen für die schnelle leistungsarme Schaltung von sehr hohen Strömen für die Energieverteilung.

30

Um die Deposition überall in gleicher Weise zu ermöglichen werden die zur Deposition erforderlichen Gase vorzugsweise zwischen gegenüber angeordneten Substraten mit ausreichend hohem Druck eingebracht.

5

Um zu verhindern, dass bei der Deposition auf der Tochterebene erzeugte Ionen auf der Mutterebene Deponieren, und umgekehrt, wird bei der Wahl der Spannungen in den Systemen Sorge getragen, dass ein Ionenspiegel-Effekt eintritt, welcher diese Ionen von den empfindlichen Strukturen der Mutter-Ebene repsektive Tochterebene fern hält und sie durch Verwendung geeigneter Potentiale gezielt auf dafür vorgesehenen geeigneten Stellen sammelt und unschädlich macht. Solche Stellen sind zum Beispiel Linsenelektroden oder vorgefertigte Auffangflächen, die auf gegenüber dem Auftreff-Ort der Primärelektronen negativem Potential liegen.

Die Substrate werden vorzugsweise rechnergesteuert gegeneinander verschoben, so dass ebenfalls auf den Substraten befindliche und durch vorstrukturierende Lithographie und Lithographieverfahren hergestellte Teststrukturen es ermöglichen, erzeugte Tochterstrukturen oder Spezialstrukturen in ihrer Eigenschaft zu vermessen und zu kalibrieren.

Durch Verdoppelung der getesteten und gegebenenfalls durch Reparatur wieder funktionsfähig gemachten Strukturen werden diese in exponentiell wachsenden Zahlen erzeugt.

Die vielfach erzeugten Korpuskularstrahlssysteme werden vorzugsweise zur ökonomischen Herstellung von einzel-

nen, von in Gruppen durch Aufteilung der Flächen oder von flächigen Anordnungen derartiger Systeme eingesetzt.

5      Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung von Korpuskularstrahlssystemen mit einem ersten Substrat und mindestens einem zweiten Substrat, wobei sich auf dem ersten Substrat mindestens ein mittels korpuskularstrahlinduzierter Deposition erzeugtes erstes Korpuskularstrahlssystem befindet.

15      Insbesondere sind das erste und das mindestens zweite Substrat derart zueinander versetzt angeordnet, dass den auf einem Substrat bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen freie Flächen des anderen Substrats gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme des einen Substrats Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen des anderen Substrats erzeugen können.

20      In einer bevorzugten Ausführungsform zeichnet sich die Vorrichtung durch einen Rechner aus, der programmtechnisch eingerichtet ist, um die Anordnung der Substrate insbesondere über einen Verschiebetisch in x-y-z-Richtung zu steuern.

30      Ferner werden vorteilhafterweise Piezoelemente an den Substraten vorgesehen, um diese zueinander mit hoher Präzision elektrisch gesteuert und vermessen zu positionieren.

Während der Herstellung wird vorzugsweise die Funktionsfähigkeit der Korpuskularstrahlssysteme überprüft

durch vorgesehene Testmittel, wie Bildwiedergabe, elektrische Strom- und Spannungsdetektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die zum Testen jedes Korpuskularstrahlsystems auf den Substraten ausgebildet und elektrisch angeschlossen sind.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist das erste und zweite Substrat ein Halbleiter, insbesondere Silizium. In diesem Fall werden mittels Halbleiterherstellungsverfahren, wie diese auch zur Produktion von integrierten Schaltungen angewandt werden, elektronische Komponenten auf den Substraten für die Korpuskularstrahlsysteme erzeugt. Falls hohe Spannungen in den Korpuskularstrahlsystemen erforderlich sind, wird mit Vorteil die elektronische Steuer- und Vermessungsschaltung auf einem isolierenden Substrat wie Glas oder Keramik mit Halbleitertechnischen Prozessen hergestellt.

Insbesondere wird vorteilhafterweise das Substrat Schaltungselemente, insbesondere Verdrahtungselemente aufweisen, mit denen Korpuskularstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

Die Schaltungselemente sind beispielsweise insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahlablenkverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker.

Typischerweise weist ein Substrat mindestens eine Fläche mit einer Breite von etwa 2  $\mu\text{m}$  bis etwa 2500  $\mu\text{m}$  und einer Länge von etwa 10  $\mu\text{m}$  bis zu etwa 100 mm für ein Korpuskularstrahlsystem auf.

5

Ferner weist ein Substrat in einer bevorzugten Ausführungsform Anschlusspunkte für Korpuskularstrahlsysteme auf, beispielsweise metallisierte elektrische Kontaktpunkte zum Anschliessen von Komponenten der Korpuskularstrahlsysteme.

10

Vorzugsweise sind Korpuskularstrahlsysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet, was produktionstechnisch besonders vorteilhaft ist, da sich die Substrate Seite an Seite anordnen lassen und alle Korpuskularstrahlsysteme eines Substrats dann zur Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf dem gegenüberliegenden ebenfalls kammartigen Substrat gleichzeitig arbeitend eingesetzt werden. Die kammartige Anordnung unterstützt mit Vorteil die Verbindungstechnik unter Verwendung von industriell eingesetzten Platinstecker-Buchsen zum Prüfen und Betreiben der gefertigten Elemente

15

20

25

In einer bevorzugten Ausführungsform sind mindestens ein erstes und mindestens ein zweites Korpuskularstrahlsystem mit Mess- und Stabilisatorschaltungen versehen, die zum Messen und Stabilisieren von Korpuskularstrahlung dienen.

30

Es werden ferner in einer bevorzugten Ausführungsform Schaltungselemente vorgesehen, welche die Korpuskularstrahlsysteme mit Spannung und Strom versorgen und



es ermöglichen, diese mittels Speicher programmierbar einzustellen. Dies ermöglicht den Aufbau sehr flexibler, da programmierbarer Korpuskularstrahlssysteme.

5 Vorzugsweise sind die Korpuskularstrahlssysteme mit Mitteln versehen, die zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit und Stabilität der Strahlung und der Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

10

Die Korpuskularstrahlssysteme werden vorteilhafterweise mit bildanzeigenden Mitteln verbunden, die in einem Bildschirm oder Großbildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für die einzelnen Korpuskularstrahlssysteme  
15 bestehen, so dass die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergebnis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfügung gestellt wird.

20

Die bildanzeigenden Mittel weisen insbesondere dateninformationsreduzierende Routinen auf, um die Überwachung zu unterstützen und um zu gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler gespeichert werden müssen.

25

Vorzugsweise weisen die Korpuskularstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- oder Flüssigkeitsionenquellen auf.

30

Schließlich betrifft die Erfindung die Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Herstellung von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera, eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahlquellen, von Linsenarrays und einer

Schreib-/Leseanordnung für einen Speicher, sowie andere bereits oben genannte Anwendungen.

5 Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Verbindung mit den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen.

10 In der Beschreibung, in den Ansprüchen, der Zusammenfassung und in den Zeichnungen werden die in der hinten angeführten Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und zugeordneten Bezugszeichen verwendet.

In den Zeichnungen bedeutet:

15

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen sukzessiven Herstellung von miniaturisierten Elektronenstrahlsystemen mit Hilfe vorgefertigter Schaltkreise und Elektronenstrahl-induzierter Deposition zum Aufbau funktionaler Gruppen von Korpuskularstrahlsystemen,

20

25 Fig. 2 eine schematische Darstellung eines einzelnen Elektronenstrahlsystems, das auf einer vorgegebenen Fläche auf einem Substrat durch Elektronenstrahl-induzierte Deposition gemäß der Erfindung aufgebaut wurde,

30

Fig. 3 eine Seitenansicht eines Elektronenstrahlsystems, dessen Strahlachse senkrecht zum Substrat angeordnet ist,

Fig. 4 eine perspektivische Ansicht des in Fig.3 dargestellten Elektronenstrahlsystems,

5 Fig. 5 die verschiedenen Potentiale im Elektronenstrahl, der von dem in den Fig. 3 und 4 dargestellten Elektronenstrahlsystem emittiert wird,

10 Fig. 6 eine Draufsicht auf das in Fig. 3 dargestellte Elektronenstrahlsystem,

Fig. 7 ein Gitter zur Ablenkkalibrierung und daneben ein mittels Elektronenstrahl-Deposition erzeugter Zylinderaufbau zur Bildung eines Faraday-Käfigs zur Strommessung, und  
15

Fig. 8 eine Detailansicht des in Fig. 7 dargestellten Gitters mit den in Fig. 7 dragestellten Zylinderaufbauten.  
20

Im folgenden können gleiche und funktional gleiche Elemente mit denselben Bezugszeichen versehen sein.

25 Eine Besonderheit des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch den Einsatz einer rechnergesteuerten Elektronenstrahl-induzierten Deposition gekennzeichnet. So kann beispielsweise in ca. 20-30 Min. auf einem vorbereiteten ersten Basis-Chip als erstes Substrat, der Stabilisierungs-, Steuer-, Auswertungs- und andere Schaltkreise  
30 aufweist, ein miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem hergestellt werden. Die hierfür eingesetzte Herstellungstechnik ist eine Reparaturtechnik, welche die

Korrektur und Fehlerbehebung in den deponierten Strukturen ermöglicht. Mit dieser Technik wird ein erstes Elektronenstrahlsystem aufgebaut und danach durch Anlegen von erforderlichen Versorgungsspannungen eingeschaltet. Nach dem Einschalten erfolgt ein elektronischer Test des erzeugten Systems.

Die durch Deposition gefertigten Elemente des ersten Elektronenstrahlsystems wie elektrostatische Linsen und ein Abbildungssystem, das mit einer Strahlablenkung und mit oder ohne einer Aperturblende ausgerüstet ist, ermöglichen eine Fokussierung mit hoher Strahlstromdichte in einem geringen Arbeitsabstand. Dadurch wird es ermöglicht, durch eine Elektronenstrahl-induzierte Deposition weitere Bauelemente von Elektronenstrahlssystemen auf einem zweiten Basis-Chip als zweites Substrat abzuscheiden.

Um ein zweites Elektronenstrahlsystem aufzubauen, wird der zweite Basis-Chip durch mechanische Platzierung bzw. Anordnung gegenüber dem ersten Basis-Chip mit nm-Präzision ausgerichtet. Durch bildverarbeitende Mittel werden dann im Mix- und Match-Verfahren die Elektroden des zweiten Elektronenstrahlsystems auf Nanometer genau platziert auf dem zweiten Basis-Chip hergestellt. So wird ein eine Quelle, einen Kondensor, eventuell eine Blende, ein Ablenkensystem, eine Ablenklinse und einen Detektor umfassendes zweites Elektronenstrahlsystem erzeugt, das in seiner Gesamtgröße zwischen 1 und 100  $\mu\text{m}$  lang ist.

Dieses miniaturisierte Elektronenstrahlsystem ermöglicht eine Fokussierung eines Elektronenstrahls durch

die letzte Linse des Systems mit 20 bis 100 eV in einem Arbeitsabstand von einigen  $\mu\text{m}$ . Die Fokussierung kann dabei so fein werden wie bei einem herkömmlichen 20 kV-Elektronenstrahlsystem, da Linsenfehler der elektrostatischen miniaturisierten Linsen aus leitenden Drähten sehr viel kleiner sind, als die der herkömmlichen großen elektrischen und magnetischen Linsen in einem 20 kV-Elektronenstrahlsystem. Dementsprechend sind die Bildfehler um Größenordnungen kleiner. Ein derartiges miniaturisiertes Elektronenstrahlsystem ermöglicht daher bei ähnlich großer Apertur eine ähnliche Auflösung wie bei einem herkömmlichen etwa 1 m großen Elektronenstrahlsystem.

Die erfindungsgemäße Herstellung vieler miniaturisierter Elektronenstrahlsysteme wird mit Vorteil durch eine roboterartige Führung der Substrate, auf denen die Systeme aufgebaut werden, verbessert. Hierzu gibt es zwei unterschiedliche Verfahren.

Bei einem ersten Verfahren wird ein herkömmliches Raster-Elektronenstrahlsystem verwendet, das mit einer speziellen mehrkanaligen Gaszuführung zur Lieferung von Präkursoren für die Deposition ausgerüstet ist. Das Raster-Elektronenstrahlsystem erzeugt auf einem spezifischen Basis-Chip eines ersten Substrats für ein herzustellendes Elektronenstrahlsystem eine Elektrodenkonfigurationen, eine Elektronenquelle, eventuell eine Blende, eine Ablenklinse und einen Detektor durch Aufwachsen in vorbereitete Anschlusspunkte des spezifischen Basis-Chips. Dieses Elektronenstrahlsystem wird nun verwendet, um auf einem weiteren vorbereiteten Basis-Chip auf gleiche Weise, nämlich durch Depositions-Schreiben senkrecht zum

Schreiben senkrecht zum Substrat ein zweites Elektronenstrahlssystem aufzubauen. Beide Chips werden dann parallel angeordnet, mit Spannung versorgt und zu einer Doppelschreibeinheit verbunden. Mit einem derartigen

5 Doppelsystem können zwei weitere Elektronenstrahlssysteme aufgebaut werden. Insgesamt können so  $2^n$  Elektronenstrahlssysteme bei  $n$  Systemgenerationen hergestellt werden.

10 Ein zweites Verfahren besteht darin, auf einem ersten, kammartigen Substrat, das eine Vielzahl von kammartig angeordneten Basis-Chips aufweist, mit einem Raster-Elektronenstrahlssystem ein erstes Elektronenstrahlssystem auf einem der Basis-Chips zu erzeugen. Dem ersten

15 Substrat wird dann ein zweites, ähnlich kammartig ausgebildetes Substrat gegenübergestellt, genauer gesagt in einem Winkel von etwa  $90^\circ$  zum ersten Substrat angeordnet. Das zweite Substrat wird dann mechanisch relativ zum ersten Substrat derart bewegt, dass mittels des

20 ersten Elektronenstrahlssystems auf dem ersten Substrat die Elektronenquelle, die Elektroden und weitere Systemfunktionselemente eines zweiten Elektronenstrahlssystems auf dem zweiten Substrat erzeugt werden.

25 Wenn dieses zweite „Tochter“-Elektronenstrahlssystem erzeugt ist, wird es ebenfalls wie das erste Elektronenstrahlssystem mit Strom versorgt und dazu benutzt, um auf einem zweiten Basis-Chip des ersten Substrats ein weiteres erstes Elektronenstrahlssystem aufzuschreiben,

30 nachdem das erste Substrat mechanisch relativ zum zweiten Substrat derart angeordnet worden ist, dass dem zweiten „Tochter“-Elektronenstrahlssystem eine freie Fläche bzw. ein Basis-Chip gegenüberliegt.

Danach befinden sich auf dem ersten Substrat zwei parallel angeordnete Elektronenstrahlsysteme, die wiederum zum Erzeugen zweier zweiter Elektronenstrahlsysteme auf dem zweiten Substrat verwendet werden. Hierzu schreiben die beiden parallelen Elektronenstrahlsysteme des ersten Substrats auf das etwa rechtwinklig zum ersten Substrat angeordnete zweite Substrat zwei weitere Systeme, so dass sich auf dem zweiten Substrat insgesamt drei Systeme befinden. Diese drei Elektronenstrahlsysteme werden wiederum dazu verwendet, auf das erste Substrat zusätzliche drei Elektronenstrahlsysteme zu erzeugen, so dass sich insgesamt fünf Systeme auf dem ersten Substrat befinden.

In Fig. 1 sind ein erstes und ein zweites Substrat 14 bzw. 16 dargestellt, auf denen sich erste bzw. zweite miniaturisierte Elektronenstrahlsysteme 10, 10', 10'', 10''', 10'''' bzw. 12, 12', 12'' befinden. Die beiden Substrate 14 und 16 sind kammartig ausgebildet, d.h. sie haben eine etwa rechteckförmige Ausbildung und sind in freie Flächen entsprechend Basis-Chips aufgeteilt, welche für Elektronenstrahlsysteme vorgesehen sind. Die Substrate 14 und 16 sind in einem Winkel von etwa 90° zueinander angeordnet. Ihre Position wird von einem (Steuer-)Rechner 20 kontrolliert, der Piezoelemente 22 und 24 zum exakten Ausrichten der Substrate 14 und 16 ansteuert. Damit ist eine Positionierung der Substrate 14 und 16 möglich, aber mit nm- Genauigkeit.

Die Elektronenstrahlsysteme 10-10'''' und 12-12'' wurden gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren folgendermaßen erzeugt: zuerst wurde mit einem nicht dargestellten

Raster-Elektronenschreiber das erste Elektronenstrahl-  
system 10 auf dem ersten Substrat 14 mittels Elektro-  
nenstrahl-induzierter Deposition hergestellt. Anschlie-  
ßend wurde das zweite Substrat 16 vom Rechner 20 über  
5 das Piezoelement 24 derart zum ersten Substrat 14 aus-  
gerichtet, dass der Basis-Chip für das zweite Elektro-  
nenstrahlssystem 12 gegenüber dem ersten Elektronen-  
strahlssystem 10 angeordnet war. Danach erzeugte das  
erste Elektronenstrahlssystem 10 das zweite Elektronen-  
10 strahlssystem 12. Das zweite Elektronenstrahlssystem 12  
wurde nach Fertigstellung in Betrieb genommen und er-  
zeugte nach erfolgreichem Test das erste Elektronen-  
strahlssystem 10' neben dem Elektronenstrahlssystem 10  
auf dem ersten Substrat, nachdem der entsprechende Ba-  
15 sis-Chip des ersten Substrats 14 gegenüber dem zweiten  
Elektronenstrahlssystem 12 plaziert worden war. Die bei-  
den nebeneinander liegenden Elektronenstrahlssysteme 10  
und 10' wurden dann zum gleichzeitigen Erzeugen der E-  
lektronenstrahlssysteme 12' und 12'' nach entsprechender  
20 Positionierung der beiden Substrate 14 und 16 erzeugt.  
Schließlich deponierten die so erzeugten nebeneinander  
angeordneten drei Elektronenstrahlssysteme 12-12'' die  
Elektronenstrahlssysteme 10''-10''' gleichzeitig. In  
einem nächsten Schritt werden dann die Elektronen-  
25 strahlssysteme 10-10''' gleichzeitig fünf (nicht darge-  
stellten) Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Sub-  
strat 16 erzeugen. Die beiden Substrate 14 und 16 sind  
hierfür bereits entsprechend positioniert. Die Basis-  
Chips bzw. freien Flächen 18-18''' für die zu erzeu-  
30 genden Elektronenstrahlssysteme auf dem zweiten Substrat  
sind noch frei.



Eine weitere freie Fläche am rechten Rand des ersten Substrats 14 zeigt schematisch Schaltungselemente 26, die für ein Elektronenstrahlsystem vorgesehen sind. Die Schaltungselemente 26 umfassen Verdrahtungselemente 28, insbesondere Leiterbahnen, und Anschlusspunkte 34, insbesondere freie Metallflächen. Die Anschlusspunkte 34 dienen zum Aufwachsen von Strukturen eines Elektronenstrahlsystems, beispielsweise von Linsen und Blenden. Die Verdrahtungselemente 28 dienen zum elektrischen Verbinden von einem Elektronenstrahlsystem mit weiteren (nicht dargestellten) Schaltungselementen, beispielsweise Strom- oder Spannungsquellen.

In Fig. 2 ist ein vollständiges Elektronenstrahlsystem 30 auf einer Fläche 32 eines Substrats dargestellt, wie es durch das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Basis-Chip erzeugt wurde. Der von dem System 30 erzeugte Elektronenstrahl trifft auf ein Objekt 36, das beispielsweise ein weiterer Basis-Chip eines Substrats sein kann, auf dem ein weiteres Elektronenstrahlsystem aufgebaut werden soll. Das Objekt 36 ist etwa in einem Winkel von  $90^\circ$  zum System 30 angeordnet und befindet sich etwa im Brennpunkt des Elektronenstrahls 34.

Das dargestellte Elektronenstrahlsystem 30 umfasst einen Emitter 38 sowie ein Blenden und Linsensystem 40 mit einer Extraktor-Linse aus zwei ringförmigen Elektroden. Eine Blende ist nicht gezeigt. Diese müsste in dem Raum zwischen Extraktorlinse und Ablenklinse angeordnet sein. Wegen der Anordnung der Feldelektrodenquelle als Superspitzte auf dem Emitterträger kann es ausreichen, die auf einen Emissionsort begrenzte Emission ohne zusätzliche Blende vollständig zu verwenden.

den, da dies durch die kleinen Linsenfehler der Extraktorlinse ermöglicht ist, ohne die Quelle in ihrer Größe und Emittanz wesentlich zu verschlechtern. Zudem kann der Fokus des Strahls durch den Rundlinsenanteil der Ablenklinse geregelt werden. Ein derartiges Elektronenstrahlssystem 30 wird dazu verwendet, ein „Tochter“- Elektronenstrahlssystem auf dem Objekt 36 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition gemäß der Erfindung zu erzeugen.

10 Mit den oben beschriebenen Verfahren entsteht eine spezielle mathematische Reihe von Wachstumszahlen und von Elektronenstrahlssystemen, welche auch ähnlich dem exponentiellen Wachstum zu einer Reproduktion von vielen  
15 Elektronenstrahlssystemen führt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass zwei funktionsfähige Substrate sukzessive mit Elektronenstrahlssystemen ergänzt aufgefüllt werden, und zum Schluss sehr schnell voll gefüllte Substrate mit Elektronenstrahlssystemen  
20 erhalten werden. Um beispielsweise 64 oder 1024 oder gar 1 Mio. von miniaturisierten Elektronenstrahlssystemen zu erhalten, können die Substrate mit ihren parallel arbeitenden Elektronenstrahlssystemen als ganzes eingesetzt werden und neue „Tochter“-  
25 Elektronenstrahlssysteme auf einem neuen Substrat gleichzeitig herstellen.

Das zweite Verfahren hat gegenüber dem ersten Verfahren den Vorteil, dass die Substrate mit Elektronenstrahl-  
30 systemen nicht in Einzelelemente zerschnitten werden müssen. Ausserdem ist mit Vorteil die Verdrahtung der Versorgungsspannungen und anderer parallel ablaufender elektrischer Steuerungs-Schritte mit in das Substrat

bei der Herstellung integriert. Damit wird das Packaging von Einzelkomponenten vermieden und die Zuverlässigkeit der Anordnung wesentlich erhöht.

5 In Fig. 3 ist ein erstes Elektronenstrahlsystem 10 auf  
einem ersten Substrat 14 in seitlicher Ansicht darge-  
stellt, dessen durch eine gestrichelte Linie angedeu-  
ter Elektronenstrahl etwa senkrecht zum Substrat 14  
verläuft. Der Elektronenstrahl des ersten Systems 10  
10 baut auf einem zweiten Substrat 16, das dem ersten Sub-  
strat 14 gegenüberliegt, ein zweites Elektronenstrahl-  
system 12 mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposi-  
tion auf. Zwischen den beiden plattenförmigen Substra-  
ten 14 und 16 befindet sich ein Gas, dessen Gaspartikel  
15 58 für die Deposition erforderlich sind. Das Gas weist  
einen für die Deposition ausreichend hohen Druck zw-  
ischen den Substraten 14 und 16 auf.

Das erste Elektronenstrahlsystem 10 umfasst eine feine  
20 Metallspitze als Emitter 38 für Elektronen. Weiterhin  
weist das erste System 10 einen ersten Quadrupol mit  
den Quadrupol-Elektroden 44 und einen zweiten Quadrupol  
mit den Quadrupol-Elektroden 50 und 52 auf. Die ent-  
sprechend zum Quadrupol gehörigen weiteren zwei Elek-  
25 troden in der zur Zeichenebene senkrechten Ebene durch  
die Strahlachse sind nicht gezeichnet, werden aber in  
den folgenden Figuren 4 im Schrägbild für den ersten  
Quadrupol und in Figur 6 mit ihren Fußpunkten an den  
Endpunkten der Anschlussleiterbahnen 43, 44, 46, 48 und  
30 50 - 56 in der Anschlussstruktur dargestellt. Der erste  
Quadrupol 43, 44, (46, 48 nicht gezeigt) dient als Ex-  
traktor, um die vom Emitter 38 emittierten Elektroden  
zu beschleunigen. Der zweite Quadrupol 50, 52, (54, 56

nicht gezeigt) ist in Richtung vom ersten zum zweiten Substrat 14 bzw. 16 hinter dem ersten Quadrupol 43, 44 angeordnet und dient als Fokussierungslinse für den Elektronenstrahl. Mittels einer rechnergesteuerten Einstellung der Versorgungsspannung der Elektroden der beiden Quadrupole 43, 44, 50, 52 wird der Emissionsstrom des Emitters 38, die Fokussierung und Ablenkung des Elektronenstrahls in x-y-Richtung ermöglicht, wobei die x-y-Ebene etwa parallel zu den Ebenen liegt, in welchen sich die Substrate 14 und 16 befinden. Fig. 4 zeigt das in Fig. 3 dargestellte erste Elektronenstrahlsystem 10 in perspektivischer Ansicht. Neben den Elektroden 50, 52, 54, 56 des zweiten Quadrupols ist der Emitter 38 zu erkennen. Der erste Quadrupol von Fig. 3 ist in dieser Ansicht nicht dargestellt.

Fig. 5 zeigt das Potential eines von einem Emitter 38 emittierten Elektronenstrahls. An der Spitze des Emitters 38 herrscht ein Potential Q1. Wenn der Elektronenstrahl aus dem Elektronenstrahlsystem austritt weist er ein Potential Q2 auf, das im Wesentlichen vom zweiten Quadrupol bestimmt wird. Der Elektronenstrahl trifft auf das zweite Substrat 16 mit einem Bremspotential auf. Diese Verzögerung der Primärelektronen bewirkt eine Beschleunigung der aus dem Substrat ausgelösten Sekundärelektronen und bremst die dort ausgelösten Ionen, so dass sie nicht die Feldemissionskathode erreichen können. In einer weiteren vorteilhaften Ausführung können die Potentialwerte Q1 und Q2 auch vertauscht sein und dennoch das Bremspotential erhalten bleiben.

In Fig. 6 ist das Elektronenstrahlsystem 10 in Draufsicht dargestellt. In dieser Darstellung sind alle

Elektroden des Systems zu erkennen. Der erste Quadrupol wird durch die Elektroden 43, 44, 46, 48 und der zweite Quadrupol durch die Elektroden 50, 52, 54, 56 gebildet. Die Ansteuerung der Elektroden ist beispielhaft für die Elektrode 48 dargestellt. Sie umfasst für die Elektrode 48 eine einstellbare Spannungsquelle 60, die über ein Strom-Messgerät 62 mit der Erde verbunden ist. Über die einstellbare Spannungsquelle 62 kann das Potential der Elektrode 48 eingestellt werden. Die Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden auch als Fänger für Sekundärelektronen verwendet. Alle Signale der Elektroden 50, 52, 54 und 56 werden mit einem Summierverstärker anstelle dem Einzelnen Strom-Messgerät pro Elektrode, wie bei 48 exemplarisch dargestellt, addiert und zur Bildauswertung verwendet. Damit kann der Aufbau des zweiten Elektronenstrahlsystems 12 auf dem zweiten Substrat 16 visuell überwacht werden, indem ein mit der x-y Ablenkung synchron laufender Schreibstrahl einer Bildwiedergaberöhre in seiner Helligkeit mit dem verstärkten Sekundärelektronensignal moduliert wird.

Fig. 7 zeigt ein Gitter 64 zur Ablenkkalibrierung von Elektronenstrahlen. Dieses Gitter 64 kann auch zur Messung des Astigmatismus durch ein Moiré-Verfahren eingesetzt werden, indem die Elektronensonde unter einem sehr kleinen Winkel zur Gittersteg-Kante geführt wird und aus der Zahl der im Sekundärelektronensignal sichtbaren Querstege auf den benötigten Weg geschlossen wird, um die Sonde ganz auf den Steg zu fahren oder ganz vom Steg zu bewegen. Die Auflösung des Verfahrens ist proportional zu  $1 / \text{Winkel zwischen Sondenbewegungsrichtung und Gittersteg}$ . Wie mit dem Gitter eine Messung und Kalibrierung des Astigmatismus erfolgt, ist

in der Veröffentlichung „Metrology-Chip for Measurement of Diameter and Astigmatism of an Electron Beam with nm Resolution Using Moiré Amplification“, H.W.P. Koops, B.Hübner, M.Watanabe, Microelectronic Engineering 23 (1994) S.387-390, genauer beschrieben. Das Gitter 64, das Quer- und Längsstäbe 66 bzw. 68 umfasst, ist auf einem Substrat angeordnet und dient im wesentlichen als Kalibrieremuster und Detektorfläche zur Strommessung. Es weist den in Fig. 7 rechts neben dem Gitter 64 dargestellten Zylinder 70 auf. Der Zylinder 70, dessen Höhe sehr viel größer als sein Durchmesser ist, ist mittels Deposition erzeugt worden. Der Zylinder bildet einen Faraday-Käfig zur Strommessung und ist hierzu mit Leiterbahnen 72 des Gitters 64 kontaktiert.

Die in Fig. 8 dargestellte Detailansicht des Gitters 64 zeigt, wie die Zylinder 70 im Gitter angeordnet sind.

Das Wachstum der Vielzahl von Elektronenstrahlsystemen gemäß der Erfindung ermöglicht den Einsatz vieler lokal, separat geführter Elektronenstrahlsysteme für die Fertigung mittels Elektronenstrahl-induzierter Deposition. Durch die Größe dieser miniaturisierten Systeme wird eine Strahldichte im Bereich von etwa 250  $\mu\text{m}$  und darunter als Strahlabstand längs eines kammförmigen Substrats erreicht. Durch Aufeinanderlegen von derartig mit Elektronenstrahlsystemen versehenen Substraten wird ein Abstand der Strahlen senkrecht zum Kamm von wiederum z.B. etwa 250  $\mu\text{m}$  erreicht, bzw. der die Steuerelektronik tragenden Halbleiterdicke. Das entspricht der Dicke eines Silizium-Wafers, aus welchen die Substrate mit Basis-Chips gefertigt wurden. Diese Strahldichte von etwa 250 x 250  $\mu\text{m}$  Abstand in einer Fläche von etwa

30 mm x 30 mm ermöglicht 1440 Strahlen, die zur Herstellung von eben verteilten Bauelementen, die mit einem derartigen Rastermaß gebraucht werden, eingesetzt werden.

5

Beispielsweise kann die Rastermatrix zur Herstellung einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera mit Elektronenstrahl-induzierter Deposition eingesetzt und diese in Massenproduktion hergestellt werden. Eine weitere vorteilhafte Anwendung derartiger Parallelstrahl-Systeme dient der Herstellung von Flachbildschirmen mit Elektronenquellen. Die Elektronenquellen bestehen hierbei je aus Emitter und Extraktor. Damit müssen nur zwei Drahtelektroden hergestellt werden, von welchen eine eine feine Spitze hat. Dies gilt auch für die Herstellung von Linsenarrays durch Elektronenstrahlbelichtung und anderen eben in einem Rastermaß geforderten Depositions- und Belichtungsstrukturen. Zum weiteren können derartige Systeme, da sie eigenständige Detektoren beinhalten, auch zum Vermessen von Strukturen in paralleler Anordnung der Elektronenstrahlen verwendet werden. Auf diese Weise kann der Durchsatz der Elektronenstrahlmesstechnik in der Halbleiterfertigung mit hoher Auflösung vervielfacht werden.

25

Zudem ist das Schreiben von Elektronenstrahlolithographiestrukturen mit viel höherer Schreibgeschwindigkeit mit einem mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Elektronenstrahlsystem-Array möglich, da verhindert wird, dass der Gesamtelektronenstrom durch eine Optik fließt. Bei den im Raster angeordneten Elektronenstrahlssystemen fließt dagegen der Elektronenstrahlstrom durch  $2^n$  Optiken (wenn n Generationen von Elekt-

ronenstrahlssystemen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gemäß dem oben beschrieben ersten oder zweiten Verfahren hergestellt wurden). Dadurch kann man die Schreibzeit  $t$  auf  $t/2^n$  verringern, was für die Großflächenlithographie insbesondere für Nanostrukturen von großem Vorteil ist, beispielsweise beim direkten Schreiben von Masken oder Wafer-Belichtungen für die Produktion von integrierten Schaltungen.

10 Eine weitere vorteilhafte Anwendung der Vielzahl von Elektronenstrahlssystemen liegt in der Speichertechnik. Dazu werden Elektronenstrahlssysteme so aufgebaut, daß sie durch Ablenkung ihres Elektronenstrahls in einem Rasterfeld von beispielsweise etwa  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  die  
15 Speicherelemente, zum Beispiel elektrische oder magnetische Speicherzellen-Elemente von etwa  $30\text{ nm}$  Durchmesser herstellen und auch ansprechen können. Durch geeignete Auswertung der Strahl-Antwort in Form von rückgestreuten oder gespiegelten Elektronen kann der Speicherzelleninhalt gelesen und eine Speicherung der Information ohne die Verwendung beweglicher Teile ermöglicht werden. In der Fläche von etwa  $100\text{ }\mu\text{m} \times 100\text{ }\mu\text{m}$  können sich beispielsweise 9 Millionen Speicherzellen befinden. Mit z.B. 1000 parallel arbeitenden Elektro-  
20 nenstrahlssystemen, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt wurden, wären 9 Gbit ansprechbar. Zudem kann durch die Verwendung von parallel arbeitenden Schreib- und Lesestrahlen die Datenübertragungsrate gegenüber herkömmlichen Speichersystemen wie beispielsweise DRAM-Chips oder auch Festplatten erhöht werden.  
30 Gleichzeitig wird der Einsatz mechanisch bewegter Teile vermieden, was die Zuverlässigkeit der Anordnung erhöht.



5

# BEZUGSZEICHENLISTE

10	10-10''''	erste Elektronenstrahlssystem
	12-12''	zweite Elektronenstrahlssysteme
	14	erstes Substrat
	16	zweites Substrat
	18-18''''	freie Flächen
15	20	Rechner
	22, 24	Piezoelemente
	26	Schaltungselemente
	28	Verdrahtungselemente
	30	Elektronenstrahlssystem
20	32	Fläche
	34	Anschlusspunkte
	36	Objekt
	38	Emitter
	40	Linsensystem
25	42	Extraktor-Linse
	43	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	44	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
30	46	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)
	48	Elektrode des ersten Quadrupols (Extraktor-Linse)

	50	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	52	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
5	54	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	56	Elektrode des zweiten Quadrupols (Fokussier- und Ablenk-Linse)
	58	Gaspartikel
10	60	einstellbarer Spannungsquelle
	62	Strom-Messgerät
	64	Gitter
	66	Querstäbe
	68	Längsstäbe
15	70	Zylinder (Faraday-Käfig)
	72	Leiterbahn

5

P A T E N T A N S P R Ü C H E

- 10 1. Verfahren zur Herstellung von Korpuskularstrahl-  
systemen (10-10'``, 12-12'`), bei dem auf einem  
ersten Substrat (14) mindestens ein erstes Kor-  
puskularstrahlssystem (10) mittels korpusku-  
larstrahlinduzierter Deposition und auf mindes-  
15 tens einem zweiten Substrat (16) mindestens ein  
zweites Korpuskularstrahlssystem (12) von dem  
mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem  
(10) mittels rechnergeführter korpuskularstrah-  
linduzierter Deposition erzeugt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeich-**  
**net**, dass anschliessend auf dem ersten Substrat  
(14) mindestens ein weiteres erstes Korpusku-  
larstrahlssystem (10') von dem mindestens einen  
25 zweiten Korpuskularstrahlssystem (12) mittels  
rechnergeführter korpuskularstrahlinduzierter  
Deposition erzeugt wird.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch ge-**  
**kennzeichnet**, dass abwechselnd erste und zweite  
Korpuskularstrahlssysteme (12', 12'', 10'',  
10''', 10''') von den bereits auf den Substra-

ten (14, 16) existierenden zweiten bzw. ersten Korpuskularstrahlssystemen erzeugt werden.

- 5                    4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und das  
zweite Substrat (14, 16) derart zueinander versetzt angeordnet werden, dass den auf einem Substrat (14) bereits existierenden Korpuskularstrahlssystemen (10-10''''') freie Flächen (18-18''''') des anderen Substrats (16) gegenüberliegen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-10''''') des einen Substrats (14) Korpuskularstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-18''''') des anderen Substrats (16) erzeugen können.
- 10
- 15
- 20                    5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) von einem Rechner (20) gesteuert positioniert werden.
- 25                    6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Substrate (14, 16) mittels Piezoelementen (22, 24) zueinander positioniert werden.
- 30                    7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass jedes Korpuskularstrahlssystem (10-10''''', 12-12'') nach seiner Erzeugung elektrisch getestet wird.
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor der Erzeugung von Korpuskularstrahlssystemen auf den Sub-

straten Schaltungselemente (26), insbesondere Verdrahtungselemente (28) erzeugt werden, mit denen Korpuskularstrahlssysteme zumindest teilweise elektrisch verbunden werden.

5

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf Anschlusspunkten (34), die auf einem Substrat (14) vorgesehen sind, erzeugt werden.

10

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass Korpuskularstrahlssysteme auf einem Substrat kammartig nebeneinander angeordnet werden.

15

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass erste und/oder zweite Korpuskularstrahlssysteme eine Bildauswertung von Bildsignalen, die durch Rasterung erzeugt werden, durchführen.

20

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sowohl Fokussierung, Stigmatisierung und Ablenkung eines Korpuskularstrahls in einem automatischen Ablauf erfolgen und für jedes Korpuskularstrahlssystem eine individuelle Fokussierung durchgeführt wird.

25

30

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition mit rechnergeführter Ionenstrahl-induzierter o-

der Elektronenstrahl-induzierter Deposition durchgeführt wird.

- 5 14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Deposition für das erste herzustellende Korpuskularstrahl-system mit rechnergeführter rastersondenmikro-skopischer Deposition mit Niederspannung von et-wa 100 V bis etwa 40 kV erfolgt.
- 10
- 15 15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpusku-larstrahlssysteme in Gruppen von einem Steuersys-tem umfassend eine Steuer- und Programmierелеk-tronik angesteuert und kontrolliert werden.
- 20
16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpusku-larstrahlssysteme bis zu einer bestimmten Anzahl vollständig konfiguriert aufgebaut und dann durch geeignete Zuführung von Gasen zum Aufbau weiterer Korpuskularstrahlssysteme als parallel arbeitende Blöcke von Korpuskularstrahlssystemen verwendet werden.
- 25
17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch ge-kennzeichnet**, dass Einzelkämme von Korpusku-larstrahlssystemen reproduziert und zu Ferti-gungssystemen zusammengesetzt und konfiguriert werden.
- 30
18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, **dadurch ge-kennzeichnet**, dass die Blöcke gemeinsam produ-

ziert werden, ohne dass sie weiterhin zusammen-  
gesetzt werden müssen.

- 5            19. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprü-  
che, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Korpusku-  
larstrahlssysteme (siehe Figuren 3 bis 6) mit ih-  
ren Strahlachsen etwa senkrecht zur Oberfläche  
des Substrats angeordnet sind.
- 10           20. Vorrichtung zur Herstellung von Korpusku-  
larstrahlssystemen (10-10'', 12-12''), mit ei-  
nem ersten Substrat (14) und mindestens einem  
zweiten Substrat (16), wobei sich auf dem ersten  
Substrat (14) mindestens ein mittels Rechnerge-  
führter Korpuskularstrahl-induzierter Deposition  
15           erzeugt es erstes Korpuskularstrahlssystem (10-  
10'') befindet.
- 20           21. Vorrichtung nach Anspruch 19, **dadurch gekenn-**  
**zeichnet**, dass das erste und das mindestens  
zweite Substrat (14, 16) derart zueinander ver-  
setzt angeordnet sind, dass den auf einem Sub-  
strat (14) bereits existierenden Korpusku-  
larstrahlssystemen (10-10'') freie Flächen (18-  
25           18'') des anderen Substrats (16) gegenüberlie-  
gen, so dass die Korpuskularstrahlssysteme (10-  
10'') des einen Substrats (14) Korpusku-  
larstrahlssysteme auf den freien Flächen (18-  
18'') des anderen Substrats (16) erzeugen kön-  
30           nen.
22. Vorrichtung nach Anspruch 20, **gekennzeichnet**  
**durch** einen Rechner (20), der programmtechnisch

eingerrichtet ist, um die Anordnung der Substrate (14, 16) zu steuern.

- 5            23. Vorrichtung nach Anspruch 21, **gekennzeichnet**  
             durch Piezoelemente (22, 24) an den Substraten  
             (14, 16), um diese rechnergeföhrt und nach Bild-  
             auswertung der Abbildung der freien Fußpunkte  
             zueinander zu positionieren.
- 10           24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22,  
             **gekennzeichnet** durch Testmittel, wie Bildwieder-  
             gabe, elektrische Strom- und Sekundärelektronen-  
             detektion und Anzeige, und andere Anzeigen, die  
             zum Testen jedes Korpuskularstrahlsystems (10-  
15           10''', 12-12'') auf den Substraten (14, 16)  
             ausgebildet sind.
25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23,  
             **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und zwei-  
20           te Substrat (14, 16) ein Halbleiter, insbesondere  
             Silizium ist.
26. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23,  
             **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste und zwei-  
25           te Substrat (14, 16) ein Nichtleiter, insbeson-  
             dere Glas, Keramik oder Quartz ist.
27. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 24,  
             **dadurch gekennzeichnet**, dass das Substrat Schal-  
30           tungselemente (26), insbesondere Verdrahtungs-  
             elemente (28) aufweist, mit denen Korpusku-  
             larstrahlsysteme zumindest teilweise elektrisch  
             verbunden sind.



28. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere rechnergesteuerte Korpuskularstrahlstromregler, Heizstromregler, Korpuskularstrahlablenkverstärker, Blendenablenkverstärker, Rastergenerator, Funktionsgenerator mit Speicher, Linseneinstellmittel, Linsenspannungsverstärker, Bildsignalverstärker, Astigmatismus-Spannungsverstärker und/oder Ablenkungsspannungsverstärker umfassen.

29. Vorrichtung nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente insbesondere Rechner-Bausteine wie Zentraleinheit, Rechen-Speicher, Puffer-Speicher, Datenspeicher, und in Hardwaregespeicherte Routinen ausführende Schaltungen sind, die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen.

30. Vorrichtung nach Anspruch 29, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schaltungselemente die zur Reproduktion der Systeme, der Bilderfassung und Auswertung und zur Herstellung spezieller neuartiger Systeme benötigt werden und diese ermöglichen im Multiplex-verfahren auf die einzelnen fertigenden Korpuskularstrahlssysteme zu deren Steuerung sequentiell aufgeschaltet werden können.

- 5 31. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat min-  
destens eine Fläche (32) mit einer Breite von  
etwa 2  $\mu\text{m}$  bis etwa 2500  $\mu\text{m}$  und einer Länge von  
etwa 10  $\mu\text{m}$  bis zu etwa 100 mm für ein Korpusku-  
larstrahlssystem (30) aufweist.
- 10 32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 27,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Substrat (14)  
Anschlusspunkte (34) für Korpuskularstrahl-syste-  
me aufweist.
- 15 33. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 28,  
dadurch gekennzeichnet, dass Korpuskularstrahl-  
systeme auf einem Substrat kammartig nebeneinan-  
der angeordnet sind.
- 20 34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 29,  
dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein ers-  
tes und mindestens ein zweites Korpusku-  
larstrahlssystem mit Mess- und Stabilisatorschal-  
tungen versehen sind, die zum Messen und Stabi-  
lisieren von Korpuskularstrahlung dienen.
- 25 35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 30,  
dadurch gekennzeichnet, dass Schaltungselemente  
vorgesehen sind, welche die Korpuskularstrahl-  
systeme mit Spannung und Strom versorgen und  
mittels Speicher programmierbar und einstellbar  
30 sind.
36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Korpusku-

5      larstrahlssysteme mit Mitteln versehen sind, die  
zum Ausführen eines automatisierten Prüfverfahrens  
ausgebildet sind, welches die Funktionsfähigkeit  
und Stabilität der Strahlung und der  
Bildaufnahme und Bildauswertung gewährleistet.

10      37. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 32,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Korpusku-  
larstrahlssysteme mit bildanzeigenden Mitteln  
verbunden sind, wie einem Bildschirm oder Groß-  
bildschirm mit entsprechender Bildaufteilung für  
die einzelnen Korpuskularstrahlssysteme, so dass  
die Arbeit des Systems überwacht und sein Ergeb-  
nis für anderweitige Weiterverwendung zur Verfü-  
15      gung gestellt werden kann.

20      38. Vorrichtung nach Anspruch 33, dadurch ge-  
kennzeichnet, dass die bildanzeigenden Mittel  
dateninformationsreduzierende Routinen aufwei-  
sen, um die Überwachung zu unterstützen, und die  
gewährleisten, dass im Wesentlichen nur Fehler  
gespeichert werden müssen.

25      39. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Korpusku-  
larstrahlssysteme Elektronenquellen oder Gas- o-  
der Flüssigkeitsionenquellen aufweisen.

30      40. Verwendung eines Verfahren nach einem der An-  
sprüche 1 bis 18 und/oder einer Vorrichtung nach  
einem der Ansprüche 19 bis 39 zur Herstellung  
von ebenen verteilten Bauelementen, insbesondere  
einer Widerstandsmatrix für eine flache Kamera,

eines Flachbildschirms mit Korpuskularstrahl-  
quellen, von Linsenarrays, von Hochstrom-  
Emitter-Arrays mit niedriger Schaltspannung zur  
Steuerung des Stromes, von mikro-  
5 Elektronenröhren aller Arten und einer Schreib-  
/Leseanordnung für einen Speicher.

5

## Z U S A M M E N F A S S U N G

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung  
von Korpuskularstrahlssystemen (10-10''', 12-12''), bei  
dem auf einem ersten Substrat (14) mindestens ein ers-  
tes Korpuskularstrahlssystem (10-10''') mittels Rech-  
nergeführter korpuskularstrahlinduzierter Deposition  
15 und auf mindestens einem zweiten Substrat (16) mindes-  
tens ein zweites Korpuskularstrahlssystem (12-12'') von  
dem mindestens einen ersten Korpuskularstrahlssystem  
(10-10''') mittels Rechnergeführter korpuskularstrah-  
linduzierter Deposition erzeugt wird. Mit dem erfin-  
20 dungsgemäßen Verfahren können eine Vielzahl von Kor-  
puskularstrahlssystemen in relativ kurzer Zeit produ-  
ziert werden.

(Fig. 1)

25

30

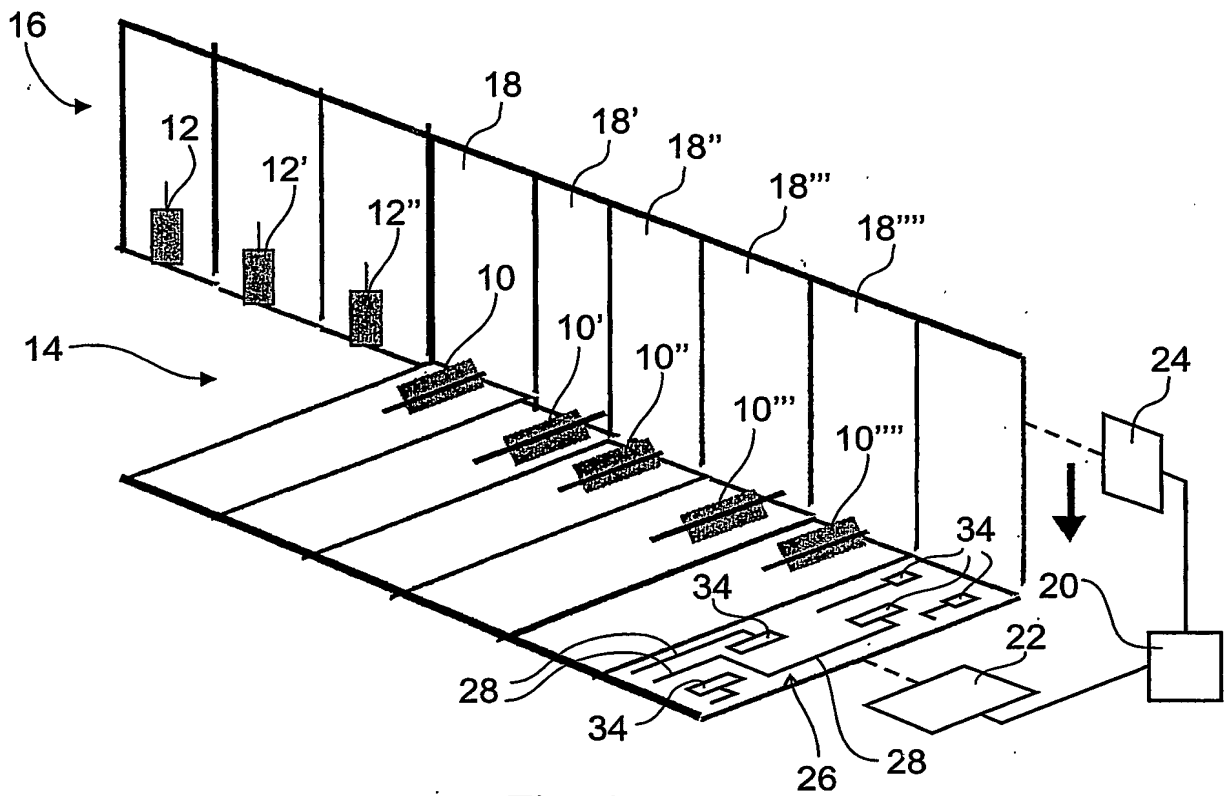


Fig. 1

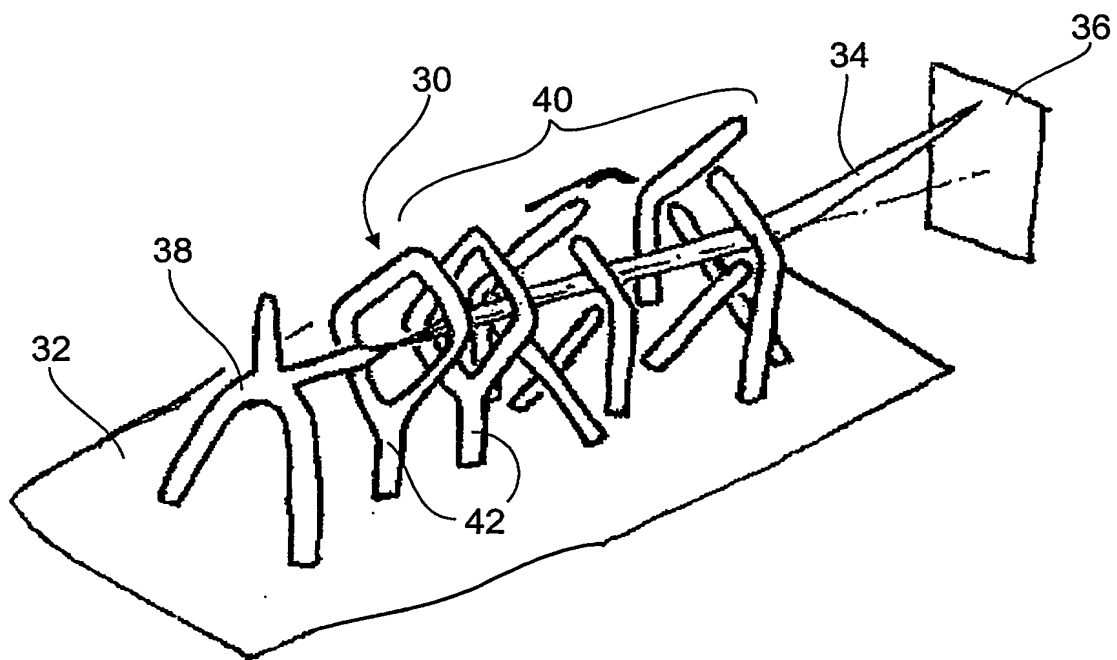


Fig. 2

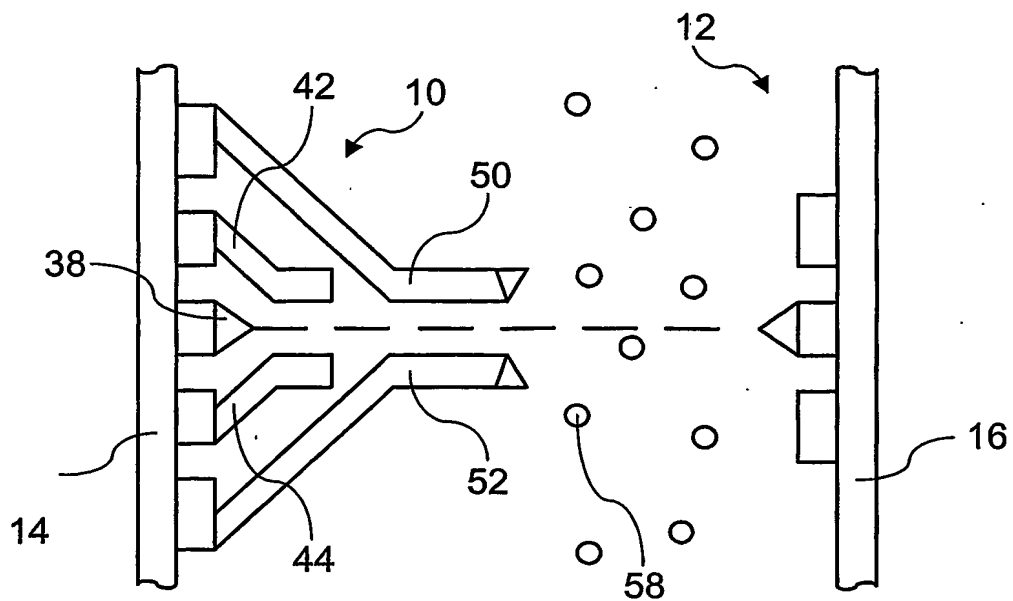


Fig. 3

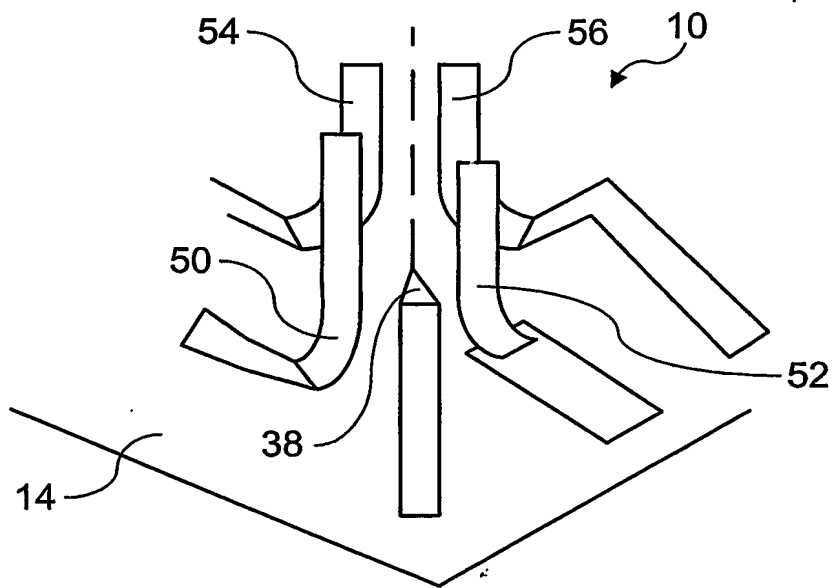


Fig. 4

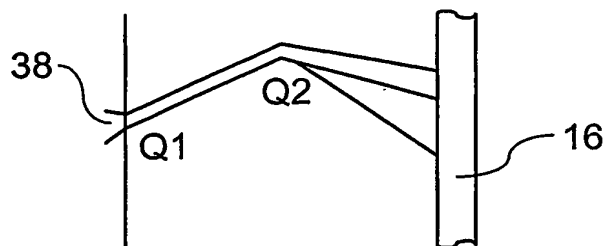


Fig. 5

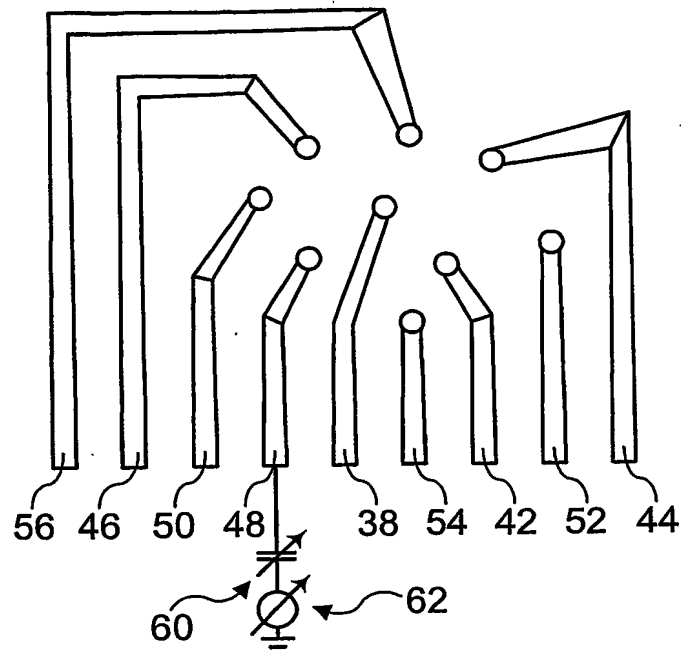


Fig. 6

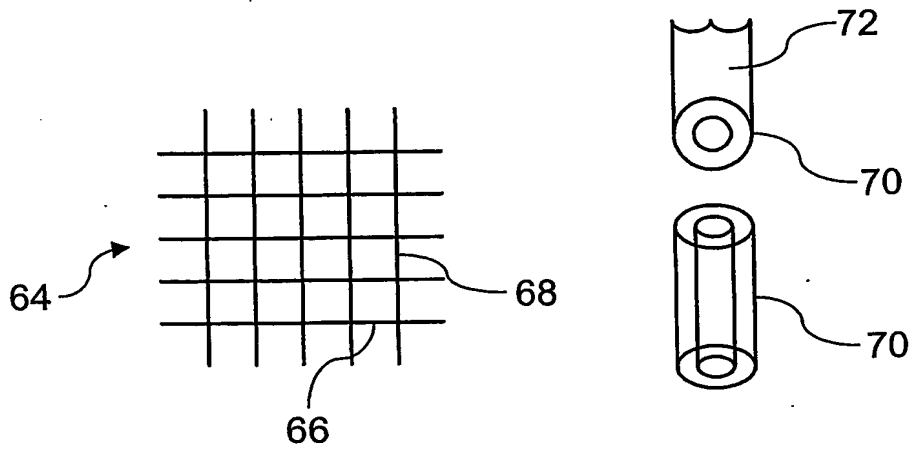


Fig. 7

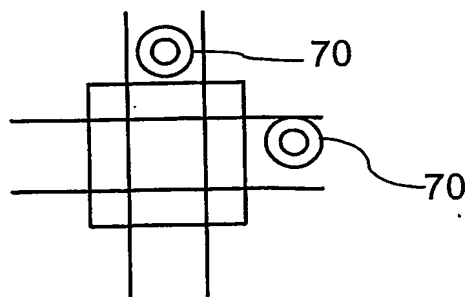


Fig. 8